



固体废物处理与资源化丛书

GUTI FEIWU CHULI YU ZIYUANHUA CONGSHU

YILIAO FEIWU GUANLI YU WURAN KONGZHI JISHU

# 医疗废物管理与 污染控制技术

第二版

史昕龙 赵由才 主编



化学工业出版社



固体废物处理与资源化丛书

# 医疗废物管理与 污染控制技术

第二版

史昕龙 赵由才 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书全面系统地总结了国内外医疗垃圾处理方面的管理、处理技术等,内容包括医疗废物概述,医疗废物的管理,医疗废物的收集、贮存和运输,医疗废物污染控制技术及发展趋势,医疗废物焚烧处理技术,医疗废物非焚烧处理技术等。

本书突出了实际技术和实用设备的介绍,并包含了特大型城市医疗废物集中处置的实际案例,可供环境工程专业(特别是医疗废物处理)的管理、设计人员和医疗废物处理设备的技术人员参考,也可供高等学校环境工程、市政工程及相关专业师生参阅。

## 图书在版编目(CIP)数据

医疗废物管理与污染控制技术/史昕龙,赵由才主编. —2版. —北京:化学工业出版社,2016.12  
(固体废物处理与资源化丛书)  
ISBN 978-7-122-28178-4

I. ①医… II. ①史…②赵… III. ①医用废弃物-  
废物管理②医用废弃物-污染控制 IV. ①X799.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第231487号

---

责任编辑:刘婧 刘兴春  
责任校对:王素芹

文字编辑:颜克俭  
装帧设计:关飞

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)  
印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司  
787mm×1092mm 1/16 印张11¼ 字数216千字 2017年3月北京第2版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:68.00元

版权所有 违者必究

# 前言

医疗废物是一种特殊的污染物，主要来自于病人生活、医疗诊断和治疗过程中产生的各类有害固体废物。虽然医疗废物与其他种类的固体废物相比，其总量并不大，但这类废物中常含有大量的病原微生物、寄生虫等有害物质，是产生各种传染病及病虫害的重要污染源。

为了避免医疗废物的转移、存放、处置等环节对人类和社会带来危害，对医疗废物各环节的约束和管理成了各国关注的问题。国内外均出台了一系列相关的公约、政策方针、法律法规、标准规范等文件来对医疗废物进行管理。医疗废物的收集、贮存和运输应遵循风险预防、安全无害的原则，防治医疗废物收集、贮存和运输过程中的环境污染，防止疾病传播，保护人体健康。

目前，国内外处置医疗废物使用最为广泛的技术仍然是焚烧技术。医疗废物经过高温焚烧可以达到较彻底的消毒灭菌并去除绝大部分的污染物，可实现大幅度的减容。在非焚烧技术方面，国内应用最多的是微波消毒、高温蒸煮、化学消毒法等预处理技术，在处理后仍需按照生活垃圾运用末端处置技术对医疗废物进行处置；等离子气化技术也属非焚烧处置技术，但目前在国内对等离子气化技术处置医疗废物仍处于研究探索阶段。

本书全面地介绍了医疗废物的特性，系统地总结了国内外医疗废物的管理方法和我国医疗废物的收集及运输方法，详述了医疗废物的焚烧处置技术及焚烧污染物的控制方法，对医疗废物的非焚烧技术也做了相关介绍。

与第一版相比，本书第二版除了更新医疗废物管理的相关法律外，还详细介绍了医疗废物焚烧技术的核心内容，包括烟气、废水、灰渣等污染物的处置方法和相关标准，并陈述了各类非焚烧处置技术，包括等离子气化等新兴处置技术。此外，本书第二版还新增了“特大型城市医疗废物集中处置”章节，以供学习借鉴。

本书（第二版）由史昕龙、赵由才主编。参加编写的有：赵由才、杨菲（第1章）；金豫佳（第2章）；赵由才、陈檬（第3章）；阮剑波（第4章）；史昕龙、卢青、徐宝兴、陆富强（第5章）；陈檬、阮剑波（第6章）；史昕龙、卢青（第7章）。全书最后由赵由才负责统稿，史昕龙负责审稿。

限于编者水平，书中疏漏与不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2016年10月

## 第一版前言

医疗废物主要指城市、乡镇中各类医院、卫生防疫、病员疗养、畜禽防治、医学研究及生物制品等单位产生的垃圾，包括医院临床废物如手术和包扎残余物，生物培养、动物试验残余物，化验检查残余物，传染性废物，废水处理污泥，废药物、药品，感光材料废物（如X光和CT检查中产生的废显影液及胶片）。医疗废物含有大量的病原微生物（如SARS病毒等）、寄生虫，还含有其他有害物质，必须严格处理与管理，应该控制包装、贮存和处理过程中可能发生传染性物质、有害化学物质的流散等，以确保居民健康和环境安全。

医疗废物是一种特殊的污染物，虽然与其他固体废物相比，其总量不大，但由于这类废物是有害病菌、病毒的传播源头之一，也是产生各种传染病及病虫害的污染源之一，世界各国越来越高度重视医疗废物的管理与处理。自20世纪50年代起，医疗废物管理及其处置技术已引起世界各国政府和国际组织的广泛关注。我国已经把医疗废物列为危险废物，其处理正在受到严密控制与监管，各地正逐步建立起监管体制，形成完善的处置系统。

医疗废物一般采用高温焚烧方法进行处置，并要求焚烧后的底灰和尾气必须达到相关标准后才能够排放，同时我国参照危险废物管理办法，执行了转移联单制度，并对从事医疗废物收集焚烧处理的单位实施许可证制度管理。随着认识的不断深入及技术的不断进步，有部分单位采用微波或高温消毒的方法对医疗垃圾进行预处理，热分解、等离子等技术也不断地应用于医疗废物的安全处置。

本书全面系统地总结了国内外医疗垃圾处理方面的管理、处理技术等，内容包括医疗垃圾产量预测、污染控制管理体系、焚烧与非焚烧处理方法、移动式处理设备等，可供从事环境工程专业（特别是医疗废物处理）的人员参考。

本书的编写受到国家科技部“十五”攻关项目“小城镇科技发展重大项目——小城镇环境保护关键技术研究及设备开发”（2003BA808A17）、国家“863”计划（A类，No. 2002AA649070）、教育部“博士点”基金（No. 20020247020）的部分资助。

全书由赵由才、张全、蒲敏任主编，李兵、李茂德任副主编。参加编写的有：张全、蒲敏、李兵（第一章）；李茂德、李兵、张全、陈立波、陈荔英（第二章）；

李兵、李茂德、赵由才、徐伟锋、陈荔英（第三章）；李茂德、张全、蒲敏（第四章）；宋立言、张善发、李兵、赵由才（第五章）。

限于编者水平，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2004年5月

# 目 录

## 1 医疗废物概述 / 1

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1.1 医疗废物的定义和特性 .....        | 1  |
| 1.1.1 医疗废物的定义 .....         | 1  |
| 1.1.2 医疗废物的分类 .....         | 3  |
| 1.1.3 医疗废物的物理化学特性 .....     | 10 |
| 1.2 医疗废物的来源和产生 .....        | 11 |
| 1.2.1 医疗废物的来源 .....         | 11 |
| 1.2.2 医疗废物的产生 .....         | 13 |
| 1.3 医疗废物的产量与预测 .....        | 15 |
| 1.3.1 国外城市医疗废物的产量与成分 .....  | 15 |
| 1.3.2 我国医疗废物的产量及预测 .....    | 18 |
| 1.3.3 医疗废物产量的预测 .....       | 19 |
| 1.4 医疗废物的特性与危害 .....        | 20 |
| 1.4.1 医疗废物对环境的危害特性 .....    | 20 |
| 1.4.2 医疗废物对环境的污染 .....      | 21 |
| 1.5 医疗废物对人体健康的影响 .....      | 24 |
| 1.5.1 医疗废物污染的健康风险 .....     | 25 |
| 1.5.2 医疗废物危害健康的影响要素 .....   | 26 |
| 1.5.3 医疗废物污染的健康危害 .....     | 27 |
| 1.5.4 病原性微生物的环境生存能力 .....   | 31 |
| 1.5.5 进一步研究和流行病学调查的需要 ..... | 31 |
| 1.5.6 结论 .....              | 32 |

## 2 医疗废物的管理 / 34

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 2.1 医疗废物污染防治的法规与其控制标准体系 .....   | 34 |
| 2.1.1 国外医疗废物污染防治法规 .....        | 34 |
| 2.1.2 我国医疗废物污染防治法规和控制标准体系 ..... | 42 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 2.2 我国医疗废物污染防治总体规划 .....    | 45 |
| 2.3 我国医疗废物污染控制现状和发展方向 ..... | 47 |
| 2.3.1 我国医疗废物处置现状 .....      | 47 |
| 2.3.2 我国医疗废物污染控制发展方向 .....  | 49 |

### 3 医疗废物的收集、贮存和运输 / 50

|                        |    |
|------------------------|----|
| 3.1 医疗废物的收集和贮存 .....   | 50 |
| 3.2 医疗废物的运输 .....      | 51 |
| 3.2.1 医疗废物转运车辆 .....   | 51 |
| 3.2.2 作业人员 .....       | 52 |
| 3.2.3 包装袋与周转箱 .....    | 53 |
| 3.2.4 医疗废物运输具体要求 ..... | 54 |

### 4 医疗废物污染控制技术和发展趋势 / 59

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 4.1 焚烧技术 .....               | 59 |
| 4.2 非焚烧技术 .....              | 60 |
| 4.2.1 预处理技术 .....            | 60 |
| 4.2.2 末端处置技术 .....           | 61 |
| 4.3 各种医疗废物处理处置技术的比较与选择 ..... | 61 |
| 4.4 我国医疗废物处理处置技术的应用前景 .....  | 63 |

### 5 医疗废物焚烧处理技术 / 64

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 5.1 医疗废物焚烧概论 .....         | 64 |
| 5.1.1 医疗废物焚烧基本概念 .....     | 65 |
| 5.1.2 医疗废物焚烧过程 .....       | 67 |
| 5.1.3 医疗废物焚烧产物 .....       | 69 |
| 5.1.4 医疗废物焚烧过程污染物的产生 ..... | 70 |
| 5.2 焚烧的处理指标、标准及要求 .....    | 73 |
| 5.2.1 医疗废物焚烧的处理指标及定义 ..... | 73 |
| 5.2.2 医疗废物焚烧的技术要求 .....    | 75 |
| 5.2.3 影响医疗废物焚烧的主要因素 .....  | 75 |
| 5.2.4 焚烧过程的平衡分析 .....      | 80 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>5.3 医疗废物焚烧处置技术</b>     | 90  |
| 5.3.1 医疗废物焚烧炉             | 90  |
| 5.3.2 医疗废物焚烧最佳可行性技术分析     | 94  |
| 5.3.3 医疗废物焚烧炉设计原则及要点      | 96  |
| 5.3.4 医疗废物焚烧系统及其构成        | 103 |
| <b>5.4 医疗废物焚烧烟气污染控制技术</b> | 109 |
| 5.4.1 焚烧烟气中污染物的种类         | 110 |
| 5.4.2 焚烧废气污染形成机制          | 110 |
| 5.4.3 医疗废物焚烧烟气特点          | 116 |
| 5.4.4 焚烧烟气污染控制方法          | 117 |
| <b>5.5 医疗废物焚烧自动控制系统</b>   | 131 |
| 5.5.1 自动控制系统              | 131 |
| 5.5.2 系统软/硬件及主要控制功能       | 132 |
| <b>5.6 其他污染防治系统</b>       | 137 |
| 5.6.1 灰渣处理系统              | 137 |
| 5.6.2 废水处理系统              | 139 |

## 6 医疗废物非焚烧处理技术 / 142

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>6.1 概论</b>           | 142 |
| 6.1.1 采用非焚烧技术的缘由        | 142 |
| 6.1.2 高温蒸汽灭菌工艺          | 143 |
| 6.1.3 化学消毒工艺            | 143 |
| 6.1.4 微波消毒工艺            | 143 |
| <b>6.2 医疗废物高温蒸汽处置技术</b> | 144 |
| 6.2.1 工艺概况              | 144 |
| 6.2.2 设备形式              | 145 |
| 6.2.3 与医疗废物焚烧处置技术比较的优缺点 | 145 |
| 6.2.4 规范要求              | 146 |
| <b>6.3 医疗废物化学消毒技术</b>   | 148 |
| 6.3.1 概述                | 148 |
| 6.3.2 化学消毒处置系统          | 150 |
| <b>6.4 医疗废物微波消毒技术</b>   | 150 |
| 6.4.1 技术概况              | 152 |
| 6.4.2 适用范围              | 152 |

|            |                     |            |
|------------|---------------------|------------|
| 6.4.3      | 废物残渣的排放             | 152        |
| 6.4.4      | 微波技术的优缺点及影响因素       | 153        |
| <b>6.5</b> | <b>医疗废物等离子体气化技术</b> | <b>155</b> |
| 6.5.1      | 起源                  | 155        |
| 6.5.2      | 原理                  | 155        |
| 6.5.3      | 优点                  | 157        |
| 6.5.4      | 系统工艺组成              | 157        |
| 6.5.5      | 污染控制                | 158        |
| 6.5.6      | 国外处置案例              | 159        |

## 7 特大型城市医疗废物集中处置——以“上海”为例 / 162

|            |                       |            |
|------------|-----------------------|------------|
| <b>7.1</b> | <b>基本概况</b>           | <b>162</b> |
| <b>7.2</b> | <b>医疗废物收集收运系统</b>     | <b>163</b> |
| 7.2.1      | 医疗废物的收运模式             | 163        |
| 7.2.2      | 周转箱                   | 163        |
| 7.2.3      | 医疗废物收运的收运路线           | 163        |
| <b>7.3</b> | <b>医疗废物焚烧系统处置技术方案</b> | <b>164</b> |
| 7.3.1      | 第三条焚烧生产线医疗废物处理处置工艺流程  | 164        |
| 7.3.2      | 焚烧系统                  | 164        |

## 参考文献 / 167

# 医疗废物概述

医疗废物是一种特殊的污染物，主要来自于病人生活、医疗诊断和治疗过程中产生的各类有害固体废物。虽然医疗废物与其他种类的固体废物相比，其总量并不大，但由于这类废物中常含有大量的病原微生物、寄生虫等有害物质，是产生各种传染病及病虫害的重要污染源，因此各国政府越来越重视医疗废物的管理与处理，WHO（国际卫生组织）等国际组织也积极倡导各国建立完善的医疗废物管理系统，以确保人体健康和环境安全。

国内的医疗卫生机构大多集中在市中心区域，如对医疗废物特别是传染性废物等特殊医疗废物不加以严格处理与管理，则在包装、贮存和处理过程中都有可能发生传染性物质、有害化学物质的流散事故，危害公众安全。

国外对医疗废物的问题非常重视，并已形成一套完善的处理处置程序和全过程管理系统，如 21 世纪初欧盟就投资了 5 千万欧元用于医疗废物处理的研究，同时对从事医疗废物集中焚烧处理的单位实施了许可证管理制度。我国对医疗废物的管理起步较晚，虽然法律、法规对医疗废物的管理和处理也有所规定，但医疗废物污染的专业控制体系目前还很不健全。

## 1.1 医疗废物的定义和特性

### 1.1.1 医疗废物的定义

美国环境保护局（Environmental Protection Agency, EPA）对于医疗废物的

定义为：来源于医院、诊所或其他健康护理机构（“红袋废物”）的含有或接触病变组织或感染微生物的所有废物。也指那些具有传染性质的危险废弃物，包括：受污染的动物粪便、人类血液及其制品、病理性废物、废弃锐器（针头、手术刀或破损的医疗器械）等。《控制危险废物越境转移及其处置的巴塞尔公约》中也提到，将“从医院、医疗中心和诊所的医疗服务中产生的临床废物”列为“应加控制的废物类别”中 Y1 组，其危险特性等级为 6.2 级，属传染性物质。世界卫生组织和世界银行（WB）将“医疗废物”（medical waste/health-care waste）定义为：人或动物在提供诊断、治疗和免疫等医疗服务，以及医疗研究、生物实验和生物制品生产过程中产生的各种固体废物，其中包括脏的或沾血绑带、办公垃圾与废玻璃器皿、废弃的外科手套、输血或输液使用后的针头、切除的躯体组织、柳叶刀等。其中，75%~90% 医疗废物属于城市生活垃圾，是没有危害的“一般医疗废物”（general medical waste/ general health-care waste），主要来源于医疗卫生机构的内部行政管理、生活服务等部门，如锅炉房的煤灰煤渣、清扫院落的渣土、建筑拆建废料；普通生活垃圾、厨房食堂的废弃物、剩饭剩菜、果皮果核、废纸废塑料；医药包装材料；枯草落叶、干枝朽木等。这类垃圾不需要特别处理，及时清运或委托处理即可，通常纳入城市生活垃圾管理系统。而剩余 10%~25% 的医院废物因具有危害性或可能产生多种健康风险（具有传染性或潜在传染性），被认为是“危险医疗废物”或“特殊医疗废物”（hazardous health-care waste/ health-care risk waste）。综上所述，美国环境保护局、世界卫生组织和世界银行认为“危险医疗废物”是指为人或动物提供诊断、治疗和免疫等医疗服务，以及医疗研究、生物实验和生物制品生产过程中产生的、具有危害性或可能产生多种健康风险（具有传染性或潜在传染性）的固体废物，其内涵基本与我国医疗废物的定义所指范围相吻合，是需要予以特别管理和处理处置的废弃物。

为加强医疗废物的安全管理，防止疾病传播，保护环境，保障人体健康，根据《中华人民共和国传染病防治法》和《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2003 年 6 月 16 日我国国务院颁布的《医疗废物管理条例》明确地指出“医疗废物是指医疗卫生机构在医疗、预防、保健以及其他相关活动中产生的具有直接或者间接传染性、毒性以及其他危害性的废物”，第一次在法律层面对医疗废物定义予以了统一与确定。同时，考虑我国的现行管理体制，《医疗废物管理条例》也指出“医疗卫生机构废弃的麻醉、精神、放射性、毒性等药品及其相关的废物的管理，依照有关法律、行政法规和国家有关规定、标准执行”和“医疗废物分类目录，由国务院卫生行政主管部门和环境保护行政主管部门共同制定、公布”等条款，明确了医疗废物的覆盖范围。

2014 年重新修订的《国家危险废物名录》中规定，与医疗废物有关的 HW01（医疗废物）、HW02（医药废物）、HW03（废药物、药品）均属于危险废物。其中，HW01 指的是医疗废物，如医疗废物及为防治动物传染病而需要收集和处置

的废物；HW02 是医药废物，如化学药品原料药生产过程中的残余物、化学药品制剂生产过程中的残余物、生产兽用药品过程中的残余物、利用生物技术生产生物化学药品、基因工程药物过程中的残余物等；HW03 是废药物、药品，如积压或报废的药品（物）等。

1.1.2 医疗废物的分类

如果各种医疗卫生机构产生的一般固体废物（生活垃圾等）与医疗废物混合，那么混合废物必须按医疗废物予以管理，并需要特别的搬运和处置，否则会导致医疗废物管理对象数量成倍增加，从而加重管理负担。同时，基于医疗废物的特殊性和污染控制的要求，必须对医疗废物进行分类收集、贮存、运输和处理处置，因此区分医疗废物、对医疗废物进行分类是对医疗废物进行有效处理的前提和基础。

(1) 国外对医疗废物的分类

世界卫生组织西太平洋地区环境健康中心将医院废物分为 5 种类型：传染性废物、锐器、药理性和化学性废物、其他有害物质（如细胞毒性、放射性、压力宣传品容器）和普通废物；新加坡将医院废物分为传染性、病理性、一般临床废物、污染锐器、细胞毒性、放射性、药理性、化学性、普通废物 9 种类型。

美国环境保护局、世界卫生组织和世界银行首先将医疗废物分为“一般医疗废物”和“特殊医疗废物”，“特殊医疗废物”通常可分为传染性废物、病理性废物、损伤性废物、药物性废物、细胞毒性废物、化学废物、重金属废物、压力容器和放射性废物 9 大类别，如表 1-1 所列。

表 1-1 美国医疗废物的分类

| 序号 | 废物种类   | 含义及实例                                                                       |
|----|--------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 传染性废物  | 可能含有病原体的废物，如实验室培养体；隔离病房的垃圾；与被感染病人接触过的棉球（药签）、物体或设备；排泄物                       |
| 2  | 病理性废物  | 人体组织或体液，如肢体、血液和其他体液、胚胎                                                      |
| 3  | 损伤性废物  | 利器器械废物，如针、输液管、解剖刀、小刀、刀片、玻璃碴                                                 |
| 4  | 药物性废物  | 含有医药品的废物，如过期或无用的医药品、被污染的或含有医药品的容器（瓶子、盒子）                                    |
| 5  | 细胞毒性废物 | 含有基因毒性物质的废物，如含有抑制细胞生长药物（经常在癌症治疗中使用）的垃圾、基因毒性化学药品                             |
| 6  | 化学废物   | 含有化学物质的废物，如实验试剂、膜涂料、过期或作废的消毒剂、溶剂等                                           |
| 7  | 重金属废物  | 含有高浓度重金属废物，如电池、破损温度计、血压计等                                                   |
| 8  | 压力容器   | 气缸、气筒、烟雾罐等                                                                  |
| 9  | 放射性废物  | 含有放射性物质的垃圾，如放射性治疗或实验室研究中的废弃液、受污染的玻璃器具、包裹或吸纸、接受开放的放射性核治疗或测试的病人的尿和其他排泄物、密封性物源 |

① 传染性废物 传染性废物是指携带一定数量或浓度的细菌、病菌、寄生虫等病原体，易引发敏感性人群感染疾病的医疗废物，该类废物主要包括：

- a. 试验室产生的含有传染性物质的培养细菌和试验动物等；
- b. 对患有传染性疾病的病人进行外科手术或解剖过程中产生的废物，如组织、接触过血液或体液的材料及设备；
- c. 来自隔离病区传染病患者产生的废物，如患者的活检物质、粪尿、血、剩余饭菜、果皮等生活垃圾，以及外伤包扎绷带等；
- d. 传染病患者血液透析工程中产生的废物，如玻璃管、滤纸等透析设备，透析过程中使用过的毛巾、长衫、围裙、手套等用品；
- e. 其他接触传染性人群或动物的设备和材料。

② 病理性废物 被切除的人体组织、器官、胚胎和医学实验动物尸体、血液、体液等医疗废物统称为病理性废物，也称为解剖性废物。无论病理性废物是否来自健康人群，该类废物通常被视为传染性废物的分支，应予以高度重视。

③ 损伤性废物 损伤性废物是指已被人体血液、体液污染的各种废弃锐器等医疗废物。损伤性废物易导致切口型或刺破型伤口，主要包括针、皮下注射针头、解剖刀、注入设备、锯子、碎玻璃、图钉和其他刀刃或小刀。不管损伤性废物是否具有传染性，该类废物都应纳入重点控制的医疗废物范畴。

④ 药物性废物 过期、淘汰、变质的药品、疫苗和血液、血清、血浆等医疗废物统称为药物性废物，该类废物还包括含有以上种类废物残留物的瓶子或包装箱，以及接触过以上种类废物的手套、面具、导管等。

⑤ 细胞毒性废物 细胞毒性废物是指过期的细胞毒药物和被细胞毒药物污染的镊子、管子、手巾、锐器等，以及接受细胞毒药物、化学治疗和放射性治疗的患者产生的呕吐物、排泄物等医疗废物。

细胞毒药物因能杀死细胞或阻止细胞生长，最常用于治疗癌症病人的化学治疗或放射治疗病房，目前在其他病房的应用也有增加趋势，如在器官移植中被广泛作为免疫抑制药品使用。细胞毒药物大多为静脉注射或输液给药，有些为口服片、胶囊、混悬液。细胞毒进入人体的途径有：吸入途径，但处理不当可形成气溶胶或灰尘污染；通过消化道摄入途径；接触皮肤途径，这种途径除局部反应外，有些还可能被吸收，不易洗掉。细胞毒性废物可能具有致突变、致畸形、致癌的特性，属于高危险性废物，在医疗卫生机构内部和处置后都会引起严重的安全问题，应对其予以高度重视。有害的细胞毒性药品主要有致使遗传基因交叉结合和乱码的烷基化合物、抑制细胞核酸生物合成的抗菌剂、避免细胞复制的间接核裂抑制剂几大类，如（硝基）咪唑硫嘌呤、苯丁酸氮芥、环磷酰胺、（左旋）苯丙氨酸氮芥、三苯氧胺、三胺硫磷等，列于表 1-2。

表 1-2 医疗中最常用的细胞毒性产品

|           |           |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按致癌物质分类   | 化学药品      | 苯                                                                                                                                                                                                                                                        |
|           | 抑制细胞生长的药物 | (硝基)咪唑硫嘌呤、苯丁酸氮芥(瘤可宁)、chlornaphazine、ciclosporin、环磷酰胺(癌得星)、(左旋)苯丙氨酸氮芥、semustine、三苯氧胺(它莫西芬)、三胺硫磷、treosulfan                                                                                                                                                |
|           | 放射性物质     | 放射性物质在本书中作为个别种类单独处理                                                                                                                                                                                                                                      |
| 按致癌隐患物质分类 | 抑制细胞生长的药物 | azacitidine、博来霉素、卡氮介、氯霉素、chlorozotocin、cisplatin、dacarbazine、dihydroxymethylfuratrizine(例如不再使用的 panfuran) 柔毛霉素、阿霉素、lomustine、methylthiouracil、灭滴灵、丝裂霉素、nafenopin、niridazole、去甲基基安定、非那西汀、镇静安眠剂、二苯乙内酰脲、甲卞肼、氯化物、黄体酮、sarcolysin、streptozocin、trichlormethine |

抑制细胞生长的有害药物分类如下。

- a. 烷基化物：引起 DNA 烃化，导致遗传物质耦合和密码错译。
- b. 抗代谢物：细胞中抑制生物合成的核酸。
- c. 有丝分裂抑制剂：阻止细胞复制。

抑制细胞生长的垃圾来源如下。

- a. 药物制备和经营中被污染的物质，如注射器、针、度量仪、小瓶和包装袋等。
- b. 过期药物、残留液、病房中残留药物。
- c. 病人的尿液、粪便和呕吐物，其中可能含有大量已服用过的抑制细胞生长的药物或其代谢物（具有潜在危险），因此，在服用药物后至少 48h 内，病人的排泄物都应看作遗毒物质，有时甚至长达 1 周。

肿瘤专科医院的基因毒性垃圾占总医疗废物的 1% 之多，其中主要含有抑制细胞生长或放射性物质。

⑥ 化学废物 化学废物由固态、液态和气态化学品废弃物组成，是指在毒性、腐蚀性、易燃性或反应性方面具有一种或一种以上特性的被抛弃化学物质等医疗废物，主要来源于医疗卫生机构的诊断、清扫、消毒和维修等工作中。来自医疗中的化学品垃圾可能是危险的，也可能是安全的。但从健康保护的观点来讲，如果其中含有以下性质中的一种就被认为是危险的。

- a. 毒性。
- b. 腐蚀性（如 pH<2 的酸和 pH>12 的碱）。
- c. 易燃。
- d. 高活性（易爆、遇水起反应、震动敏感性）。
- e. 细胞毒性（如抑制细胞生长的药物）。

类别主要有如下几种。

- a. 甲醛：医疗卫生机构大量使用甲醛作为设备清洗、消毒和生物保存的化学药剂。

b. 显、定影化学剂：定影液主要含有 5%~10% 的对苯二酚、1%~5% 的氢氧化钾和不低于 1% 的银，显影液主要含有约 45% 的戊二酸醛，同时在显影和定影过程中都会大量使用乙酸等药剂。

c. 溶剂：医疗卫生机构中的病理学、组织学试验室和工程部门会产生大量含有溶剂的废物，溶剂物质主要包括氯化苯、氯仿、三氯乙烯、制冷剂等。

d. 有机化学物质：如清洗地板用的苯酚系列和全氯乙烯等消毒、清洗化学药剂；油；杀虫剂、灭鼠剂。

e. 无机化学物质：主要由酸和碱组成（如硫黄溶液、硫酸、盐酸、硝酸、铬酸、氢氧化钠和氨水溶液），也包括一些氧化剂（如高锰酸钾  $\text{KMnO}_4$  和重铬酸钾  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ）和还原剂（如亚硫酸氢钠  $\text{NaHSO}_3$  和亚硫酸钠  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ）。

⑦ 重金属废物 含有高浓度重金属的废物是危险化学品废物 II 类的代表，通常是高毒性的。含汞垃圾是破碎的临床设备溢流物所形成的垃圾的代表，但随着固体电子感应替代仪器（温度计、血压计等）的出现，其量逐渐减少。无论何时含有汞物溢流，都要尽可能地加以补救。牙科的废弃物中含有大量的汞。镉废弃物主要来自废弃电池。X 射线辐射实验部和诊断部仍旧使用某些含铅木板。大量的药物含有砷，但在本书中作为医药废物处理。

⑧ 压力容器 医疗卫生机构使用多种装载各种气体的压力容器，一旦空瓶或不再使用，这些压力容器作为废物必须进行正确处理，不得进行焚烧或破碎。使用的气体通常有麻醉气（如全氯乙烯、氧化氮与全氯乙烯）、乙炔、氧和压缩空气等，列于表 1-3。

医疗中使用的多种类型的气体存在于加压气缸、气筒、烟雾罐内。其中多数容器一旦腾空或不再使用（虽然里面仍然含有残渣）后仍可重新利用，但一些特定类型的容器（特别是烟雾罐）必须给予处置。不管是具有内在还是潜在危险，残留在压力容器中的气体都应作认真的处理；否则，在焚烧或者压力容器被不小心戳破时可能会发生爆炸。

表 1-3 医疗机构中常用的气体

| 类 型   | 常见组分或者废物名称                                        |
|-------|---------------------------------------------------|
| 气态麻醉药 | 含氮氧化物、挥发性卤代烃（如三氟溴氯乙烷、异氟醚和安氟醚），这些气体药物很大程度上替代了乙醚和氯仿 |
|       | 使用范围：手术台、孕妇分娩、救护车、普通病房中产生疼痛的程序中、牙科诊室、镇静剂等         |
| 环氧乙烷  | 使用范围：手术器材和医疗设备的灭菌、中枢供应室、操作室                       |
| 氧气    | 以气体或液体形式贮存在大罐或大缸中，由中枢管道系统配给<br>使用范围：病人输氧          |
| 压缩空气  | 使用范围：实验操作、输氧治疗仪、设备维护、环境控制系统                       |

⑨ 放射性废物 放射性废物是指在应用放射性核素的医学实践中产生的放射性活度超过国家规定值的医疗废物，主要有沾有放射性金属、非金属及劳防用品，受放射性污染的工具、设备，散置的低放射性非液固化物，以放射性同位素进行试

验的动植物尸体或植株，超过使用期限的废放射源等。

与可以发生在开放空间中的灼伤不同，人们对离子放射不会有任何察觉，除非放射量很大才会有即时反应。医疗中的离子辐射物包括：X射线、 $\alpha$ 和 $\beta$ 粒子，以及放射性核物质释放出的 $\gamma$ 射线。这几类放射性物质的一个重要实践性差别就是：来自X射线管中的X射线仅在发生设备开关打开的时候释放，而来自放射性核的放射物不能通过开关而关闭，只能通过屏蔽材料消除。放射性核连续地经受自发瓦解（称作“放射性衰减”），在此过程中释放能量，通常导致新核的形成；同时伴随着一种或几种类型的放射性物质（如 $\alpha$ 粒子和 $\beta$ 粒子，以及 $\gamma$ 射线）的释放，引起细胞内物质的离子化；因此，放射性物质是遗毒性的。

a.  $\alpha$ 粒子是体积较大且带有正电荷的粒子（包括质子和中子），其穿透能力低，主要是在吸入和吸收时对人类产生危害。

b.  $\beta$ 粒子是带有负电荷或正电荷的电子，对人类皮肤具有极强的穿透能力，通过细胞内蛋白质和类蛋白物质的离子化而危害人类健康。

c.  $\gamma$ 射线和X射线类似，属电磁辐射物，但波长更短。它们的穿透能力高，要求以铅板或较厚的混凝土板作为屏蔽物，才可降低其强度。

通常以放射性减半所要求的时间来度量放射性的衰减（称作“半衰期”）。每一个放射性核物质都有一个特有的半衰期，值是常数，从小于1s到数百万年不等，可以用来鉴别放射性核物质的种类。核医疗中最常用的放射性核物质见表1-4，放射性核物质的放射性与衰减速率相当，用贝可勒尔（Bq）度量〔国际单位，已经替代了居里（Ci）〕：

$$1\text{Bq}=1\text{次衰减/s}$$

$$1\text{Ci}=3.7\times 10^{10}\text{Bq}$$

游离于离子辐射中，单位质量的物质所吸收的能量，叫做吸收剂量，以灰度表示（Gy），此国际单位已经代替了拉德（ $1\text{Gy}=100\text{rad}$ ）。然而，不同类型的辐射物，根据生物材料和组织类型的不同，会产生不同的效果。如果允许这些差异存在的话，一种类型的吸收剂量应该取自一种器官或组织的加权平均值。因此产生了等价剂量，用西弗特（Sv）度量，此单位代替了雷姆（ $1\text{Sv}=100\text{rem}$ ）。

放射性垃圾包括被放射性核物质污染的固态、液态及气态物质，产生于下述医疗过程：身体器官和体液的体内分析、体内器官成像、肿块定位以及不同的研究和治疗实践等。

医疗中使用的放射性核物质通常处于打开的（或“开放的”）或未打开的条件下。打开的物质通常是液体，在药物使用中不压缩而直接应用；未打开的是放射性实体，它们自制成部分设备或器械，或者到诸如“胶粒”或针管这样不能破损的未打开的物体中。放射性垃圾中通常含有短半衰期的放射性核物质，它们很快就失去活性（表1-4）。然而，某些医疗程序需要使用具有长半衰期的放射性核物质；这些物质通常以烧针、针或“胶粒”的形态存在，并且灭菌后可再用于其他病人。医疗设施中使